

新型平板式 CPL 的性能实验

刘志春 史光 刘伟 杨金国

(华中科技大学能源与动力工程学院, 湖北 武汉 430074)

摘要 本文介绍了由本实验室自主研发设计的平板式 CPL(Capillary Pumped Loop) 系统的组成与结构, 以及在该系统上进行的大量工作性能实验研究, 实验结果表明本系统在热负荷低于 450 W 时具有良好的工作性能; 系统储液器的设点温度会直接影响系统的工作温度, 系统具有一定的控温能力; 当系统的工作温度出现较大幅度的波动时, 系统的工作能力趋向极限。

关键词 CPL; 平板式; 实验系统; 性能实验

中图分类号: TK124 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-231X(2008)12-2085-03

EXPERIMENTAL STUDY FOR A NEW PLANE TYPE OF CAPILLARY PUMPED LOOP

LIU Zhi-Chun SHI Guang LIU Wei YANG Jin-Guo

(School of Energy and Power Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract A new plane type of capillary pumped loop is designed, manufactured and tested in this paper. Experimental results present that the CPL shows a excellent work capability with heat load less than 450 W; and changing the reservoir temperature can effect loop's working temperature, which proves that the system possesses some thermal controlling ability. There will be a tendency for system working capability when the system temperature presents great oscillation.

Key words CPL; plane; experimental system; performance test

0 引言

CPL(Capillary Pumped Loop) 系统是一种利用工质相变传输热量, 由毛细力驱动系统循环的装置, 因其具有高效、可靠、节能等优点, 愈来愈被应用到航天飞行器热控、高热流密度电子设备的冷却等诸多领域^[1]。随着计算机技术以及数值计算方法的发展, 数值模拟对分析 CPL 系统的运行机理、促进 CPL 技术的发展等方面起到了十分重要的作用, 见文献[2],[3]。但由于 CPL 系统是一个由多个部件构成的装置, 运行过程中, 各部件间相互影响, 必须通过实验研究才能更准确、真实地反映系统的运行机理与特征^[4]。

本文中的试验平台为所在实验室自主设计的平板型 CPL 实验装置, 蒸发器与冷凝器均为平板型, 为降低系统中的压力波动, 在冷凝器中加入多孔芯^[4~6], 在冷凝器多孔芯中产生稳定的冷凝界面, 有利于抑制系统的压力波动。

1 实验系统介绍

图 1 为本平板式 CPL 系统运行过程示意图, 采取本结构系统, 使得系统在高低热负荷下启动时, 可以很快地排出冷凝器中的多余液体, 使其以较小的阻力进入储液器, 同时又保证了系统具有充足的工质循环量。因此本平板式 CPL 系统无论在高低热负荷(最小 0.07 W/cm², 最高 1.2 W/cm²) 启动时均可以正常运行, 而没有系统干涸现象。

整个实验系统由主回路系统、辅助系统组成。主回路系统由蒸发器、冷凝器、储液器、过冷器、蒸汽管道、液体管道、工质等组成, 用甲醇作为工质; 辅助回路部分包括电加热系统(由于模拟热源)、冷却系统、数据采集系统和储液器控温系统等。系统采用一个 3HP 的冷水机组对冷凝器进行冷却。系统布置了 25 个铜-康铜 T 型热电偶监测关键部位的温度值, 3 块 YB-105A 精密压力表(量程 -0.1 ~ 0 MPa, 精度级别: 0.25 级) 分别监测蒸发器蒸汽出

收稿日期: 2007-12-20; 修订日期: 2008-10-23

基金项目: 国家重点基础研究发展规划资助项目 (No.2007CB206900); 中国博士点基金新教师项目 (No.20070487093)

作者简介: 刘志春 (1976-), 男, 新疆沙湾人, 讲师, 博士, 主要从事毛细泵相变回路以及电子器件冷却的研究。

口、蒸发器液体进口和储液器的压力变化。

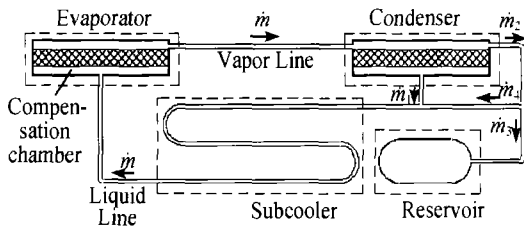


图 1 实验运行过程示意图

Fig.1 Schematic of new plane type of CPL

2 实验结果与分析

实验过程中分别进行了热负荷在 50~450 W 启动以及变工况实验, 实验均取得了成功。下面选取其中的几组数据进行具体说明。

图 2 为 100 W 启动, 100-200-300 变工况时系统各部分的温度变化图, 从图中可以看出, 系统在热负荷 100 W 下, 可以顺利启动, 而且一旦系统启动成功后, 系统在所实验的各个工况下均达到稳定平衡的状态, 蒸发器上表面温度随着加热功率的增大有一定的升高, 并趋于平衡; 蒸发器出口处的蒸汽温度基本保持不变, 这是因为储液器的设点温度维持不变, 保持在 30 °C; 冷凝器的出口温度随着加热功率的增大而不断地升高, 并趋于平衡, 有较好的工作性能; 蒸发器入口处 (过冷器出口) 回流液的温度基本保持不变, 维持在 -2 °C, 充分保证了回流液的质量, 过冷器对保障系统的良好运行起到了重要的作用。

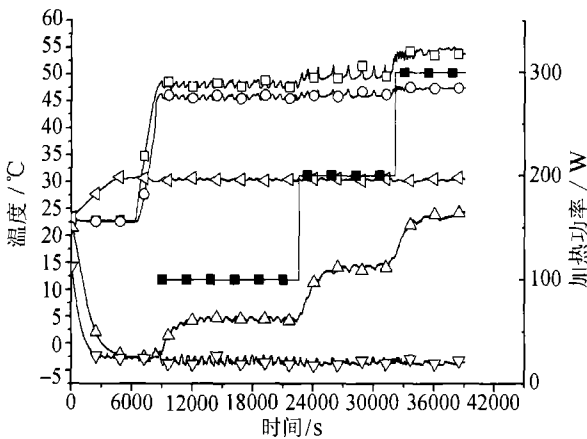


图 2 100-200-300 W 变工况实验结果图

实验初始参数: 初始压力表读数: -0.0715 -0.072 -0.071 MPa; 设点温度: 30 °C, 室温: 23 °C

图 2 CPL heat profile at different heat load variety (Q=100-200-300)

图 3 为 150 W 启动, 150-250-350-400 W 变工

况时系统各部分的温度变化图, 从图中看出, 系统在所实验的各个工况下均达到稳定平衡的状态, 蒸发器上表面温度随着加热功率的增大有一定的升高, 并趋于平衡; 蒸发器出口处蒸汽温度的变化趋势与储液器的设点温度的变化趋势保持一致, 当把设点温度从 25 °C 升高到 30 °C 时, 蒸发器出口处蒸汽温度也随之有所升高, 证明系统对工作温度有一定的控制作用; 冷凝器的出口温度随着加热功率的增大而不断地升高, 并趋于平衡, 工作性能良好; 蒸发器入口处 (过冷器出口) 回流液温度基本保持不变, 维持在 -2 °C, 充分保证了回流液的质量, 过冷器对保障系统的良好运行起到了重要的作用。

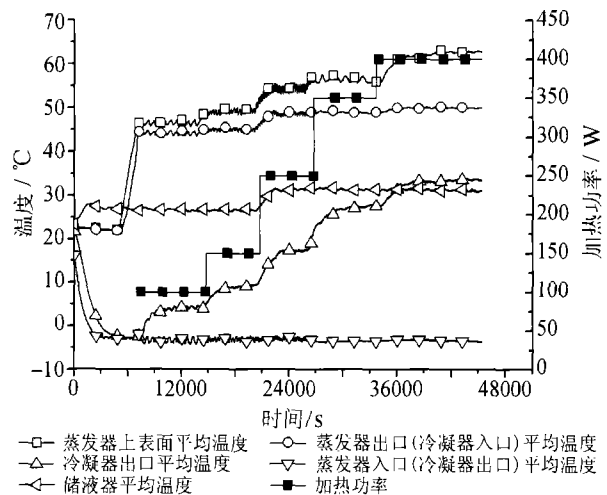
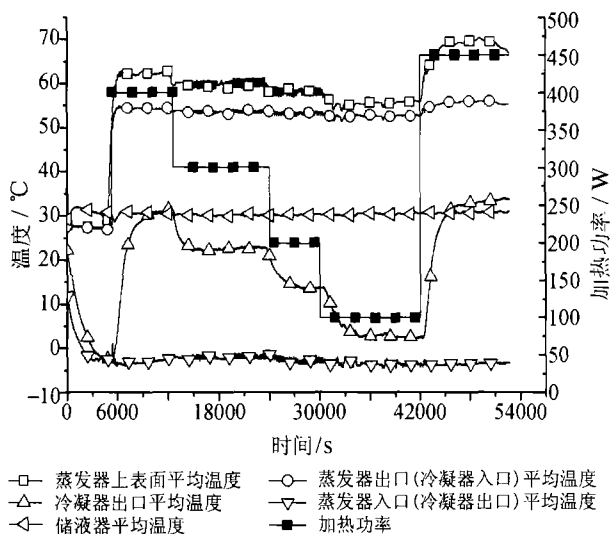


图 3 150-250-350-400 W 实验结果图

Fig.3 CPL heat profile at different heat load variety (Q=150-250-350-450)

图 4 为 400 W 启动, 400-300-200-100-450 W 变工况时系统各部分的温度变化图, 从图中看出, 系统在所实验的各个工况下均达到稳定平衡的工作状态, 蒸发器上表面温度与加热功率保持一致的变化趋势, 并趋于平衡, 系统有良好的反复工作能力; 蒸发器出口处的蒸汽温度基本保持不变, 这是因为储液器的设点温度维持不变, 保持在 30 °C, 但在 450 W 时, 其温度略有升高, 这是因为热流密度较大, 使蒸汽产生了一定的过热度, 这可以间接说明系统即将达到工作的极限; 冷凝器的出口温度也与加热功率保持一致的变化趋势, 并逐渐趋于平衡, 有较好的工作性能; 蒸发器入口处 (过冷器出口) 回流液的温度基本保持不变, 维持在 -2 °C, 充分保证了回流液的质量, 过冷器对保障系统的良好运行起到了重要的作用。

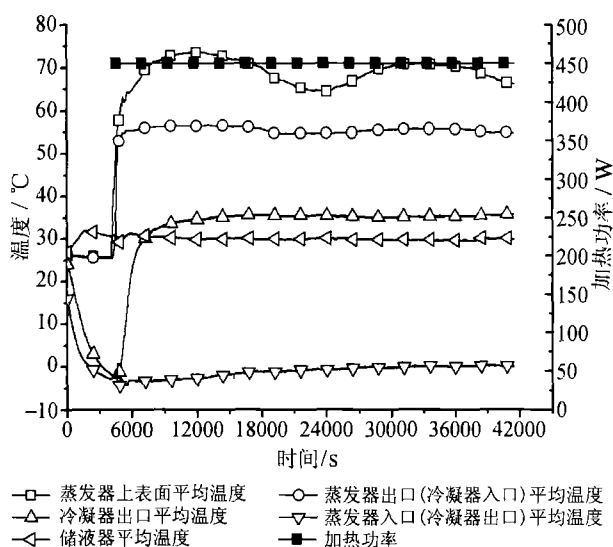


实验初始参数: 初始压力表读数: -0.0500 -0.0500
 -0.0500 MPa; 设点温度: 30 °C; 室温: 26 °C

图 4 400-300-200-100-450 实验结果图

Fig.4 CPL heat profile at different heat load variety ($Q=400-300-200-100-450$)

图 5 为 450 W 启动以及稳定运行时系统各部分的温度变化图, 系统此时承受的热流密度高达 1.2 W/cm², 从图中可以看出, 系统在所实验工况下达到稳定平衡的工作状态, 蒸发器上表面温度波动较大, 但整体趋势趋于稳定; 蒸发器出口处的蒸汽温度基本保持不变, 这是因为储液器的设点温度维持不变, 保持在 30 °C; 冷凝器的出口温度也基本保持不变, 并趋于平衡, 有较好的工作性能; 蒸发器入口处



实验初始参数: 初始压力表读数: -0.0470 , -0.0470 ,
 -0.0470 MPa; 设点温度: 30 °C; 室温: 26.5 °C

图 5 $Q=450$ W 启动实验结果图

Fig.5 CPL startup under heat load $Q=450$ W

(过冷器出口) 回流液的温度后段略有升高, 主要是由于环境温度过高所致, 但基本维持在 0 °C 以下, 能够充分保证了回流液的质量, 过冷器对保障系统的良好运行起到了重要的作用。

3 结论

(1) 本系统在 450 W (约合 1.2 W/cm²) 及以下的功率下具有良好的工作性能, 启动性能较好, 且在变工况的工作条件下运行十分稳定。

(2) 储液器的设点温度对于系统的工作温度有较大影响, 在同一设点温度下, 蒸发器出口的蒸汽温度不随工况的变化而变化, 基本维持在一个定值; 设点温度的升高会使蒸发器出口蒸汽温度升高, 从而使得系统的工作温度有所升高。

(3) 当系统在某一工况下其工作温度有较大的起伏时, 系统达到其工作能力极限, 如果再加大大热负荷, 就可能会导致系统运行的失败。

参考文献

- [1] 俞平, 张加迅, 王维城. 毛细抽吸两相环系统稳定性的实验研究. 清华大学学报, 1999, 39(6): 86-89
 YU P, ZHANG JX, WANG WC. Experimental Study on Stability of Capillary Pumped Loop System. Journal of Tsinghua University Science and Technology, 1999, 39(6): 86-89
- [2] 曲伟, 伊勇, 侯增祺. 毛细抽吸两相流体回路 (CPL) 控温特性和极限特性研究. 节能技术, 1998, 2: 9-13
 QU W, YI Yong, HOU ZQ. Thermal Control and Operation Characteristic Investigation for Capillary Pumped Loop. Energy Conservation Technology, 1998, 2: 9-13
- [3] Figus C, Bray Y Le, Bories S. Heat and Mass Transfer with Phase Change in a Porous Structure Partially Heated: Continuum Model and Pore Net Work Simulations. International Journal of Heat and Mass Transfer, 1999, 4(14): 2557-2569
- [4] Muraoka I, Ramos F M, Vlassov V V. Experimental and Theoretical Investigation of Capillary Pumped Loop with a Porous Element in the Condenser. International Journal Heat and Mass Transfer, 1998, 25(8): 1085-1094
- [5] 刘志春, 刘伟, 等. 新型平板形 CPL 系统的实验研究. 华中科技大学学报, 2007, 35(1): 70-72
 LIU ZC, LIU W, et al. Design and Experimental Studies on a new Type of Flat Plane CPL. Journal of Huazhong University of Science and Technology (Nature science edition), 2007, 35(1): 70-72
- [6] Liu W, Liu ZC, Luo XB, Yang JG. Performance Experiment for a new Type of CPL. In: Proceeding of 13th International Heat Transfer Conference. Sydney, Australia, 2006